



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 105182382 A

(43) 申请公布日 2015. 12. 23

(21) 申请号 201510473473. 8

(22) 申请日 2015. 08. 05

(71) 申请人 中国电子科技集团公司第五十四研究所

地址 050081 河北省石家庄市中山西路 589 号第五十四所卫星导航专业部

(72) 发明人 甘兴利 蔚保国

(74) 专利代理机构 河北东尚律师事务所 13124  
代理人 王文庆

(51) Int. Cl.

G01S 19/42(2010. 01)

G01S 19/33(2010. 01)

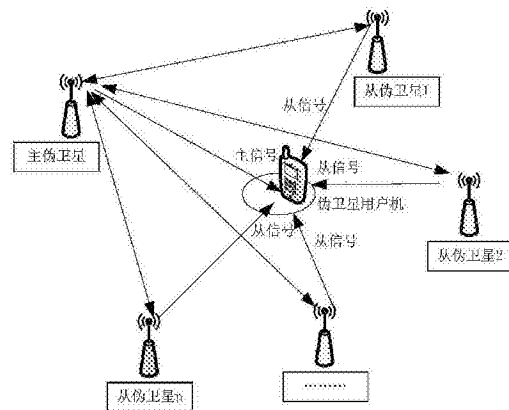
权利要求书3页 说明书7页 附图2页

(54) 发明名称

一种伪卫星厘米级定位方法

(57) 摘要

本发明公开了一种伪卫星厘米级定位方法，涉及卫星导航与无线电定位领域。本发明方法包括：一、构建伪卫星厘米级定位系统；二、主伪卫星向所有从伪卫星发射主信号，所有从伪卫星向主伪卫星发射从信号；三、从伪卫星将自闭环同步接收机计算主从伪卫星之间的钟差并写入导航电文，将该导航电文发射至主伪卫星；四、主伪卫星接收所有从信号，获得伪距测量值和载波测量值，按照 RTCM 标准协议编写导航电文；五、伪卫星用户机接收所有从信号和主信号，获得伪距测量值和载波测量值后，建立单差或双差测量方程，基于卫星导航 RTK 解算原理完成整周模糊度解算和厘米级定位。通过本发明可以实现伪卫星的高精度定位，并具有成本低、简单实用的优点。



1. 一种伪卫星厘米级定位方法,其特征在于包括以下步骤:

①构建伪卫星厘米级定位系统;所述的伪卫星厘米级定位系统包括主伪卫星和不少于3颗的从伪卫星,主伪卫星和从伪卫星均包括伪卫星信号产生器、自闭环同步接收机、接收天线和发射天线;分别测量主伪卫星的接收天线和发射天线的坐标和从伪卫星的接收天线和发射天线的坐标;

②主伪卫星分别向所有从伪卫星和伪卫星用户机发射主信号,所有从伪卫星分别同时向主伪卫星、自身的自闭环同步接收机和伪卫星用户机发射从信号;

③所有从伪卫星的自闭环同步接收机分别同时接收主信号和自身的从信号,并根据接收的主信号和自身的从信号计算出主伪卫星和从伪卫星之间的钟差,然后将该钟差写入从伪卫星各自的伪卫星信号产生器的导航电文后,将该导航电文分别发射至主伪卫星的自闭环同步接收机和伪卫星用户机;

④主伪卫星的自闭环同步接收机接收和处理所有从伪卫星发射的包含导航电文的从信号,获得伪距测量值和载波测量值,并按照 RTCM 标准协议编写主伪卫星的导航电文;将该导航电文通过主伪卫星的伪卫星信号产生器发射至伪卫星用户机;

⑤伪卫星用户机接收处理所有从伪卫星发射的包含导航电文的从信号和主伪卫星发射的包含导航电文的主信号,获得伪距测量值和载波测量值,并建立单差或双差载波相位测量方程后,基于卫星导航 RTK 解算原理完成单差或双差载波相位测量方程的厘米级定位;

完成伪卫星厘米级定位方法。

2. 根据权利要求1中所述的一种伪卫星厘米级定位方法,其特征在于:步骤③中主伪卫星和从伪卫星之间的钟差计算方法具体为:

$$\Delta dt = dt^{PL-从} - dt^{PL-主} = \frac{(P_r^{PL-主} - P_r^{PL-从}) - (\rho_r^{PL-主} - \rho_r^{PL-从})}{c}$$

其中: $\Delta dt$  为从伪卫星和主伪卫星之间的钟差; $dt^{PL-从}$  为从伪卫星的系统时间偏差; $dt^{PL-主}$  为主伪卫星的系统时间偏差; $P_r^{PL-从}$  为从伪卫星的伪距测量值; $\rho_r^{PL-从}$  为从伪卫星的自闭环同步接收机接收天线和从伪卫星的伪卫星信号产生器发射天线之间的几何距离; $P_r^{PL-主}$  为主伪卫星的伪距测量值; $\rho_r^{PL-主}$  为从伪卫星的自闭环同步接收机接收天线和主伪卫星的伪卫星信号产生器发射天线之间的几何距离; $c$  为光速。

3. 根据权利要求1中所述的一种伪卫星厘米级定位方法,其特征在于:步骤⑤中的伪卫星用户机建立单差载波相位测量方程为:

$$\phi_{u主}^{(i)} = \lambda^{-1} \rho_{u主}^{(i)} + f * dt_{u主} + N_{u主}^{(i)} + \varepsilon_{\phi,u主}^{(i)}$$

其中, $\phi_{u主}^{(i)}$  是对第*i*个从伪卫星的单差载波相位测量值,

$$\phi_{u主}^{(i)} = \phi_u^{PL-从-i} - \phi_{主}^{PL-从-i}; \quad \rho_{u主}^{(i)} = \rho_u^{PL-从-i} - \rho_{主}^{PL-从-i}; \quad dt_{u主} = dt_u - dt_{主};$$

$$N_{u主}^{(i)} = N_u^{PL-从-i} - N_{主}^{PL-从-i}; \quad \varepsilon_{\phi,u主}^{(i)} = \varepsilon_{\phi,u}^{PL-从-i} - \varepsilon_{\phi,主}^{PL-从-i}; \quad \phi_{主}^{PL-从-i} \text{ 为主伪卫星对第 } i \text{ 个从伪卫星的载}$$

波相位测量方程； $\phi_u^{PL-从-i}$  为伪卫星用户机 u 对第 i 个从伪卫星的载波相位测量方程； $\phi_{主}^{PL-从-i}$  为主伪卫星的同步接收机对第 i 个从伪卫星的载波相位测量值； $\rho_{主}^{PL-从-i}$  为主伪卫星和第 i 个从伪卫星之间的几何距离； $\rho_u^{PL-从-i}$  为伪卫星用户机 u 和第 i 个从伪卫星之间的几何距离； $dt_{主}$  为主伪卫星同步接收机的时间偏差； $dt_u$  为伪卫星用户机 u 的时间偏差； $N_{主}^{PL-从-i}$  为主伪卫星和第 i 个从伪卫星之间的整周模糊度； $N_u^{PL-从-i}$  为伪卫星用户机 u 和第 i 个从伪卫星之间的整周模糊度； $\varepsilon_{\phi_{主}}^{PL-从-i}$  为主伪卫星自闭换同步接收机对第 i 个从伪卫星之间的多径和热噪声； $\varepsilon_{\phi_u}^{PL-从-i}$  为伪卫星用户机 u 对第 i 个从伪卫星之间的多径和热噪声； $\lambda$  为信号波长； $f$  为信号频率。

4. 根据权利要求 1 中所述的一种伪卫星厘米级定位方法，其特征在于：步骤⑤中的伪卫星用户机建立双差载波相位测量方程为：

$$\phi_{u主}^{(ij)} = \lambda^{-1} \rho_{u主}^{(ij)} + N_{u主}^{(ij)} + \varepsilon_{\phi_{u主}}^{(ij)}$$

其中， $\phi_{u主}^{(ij)}$  是双差载波相位测量值， $\phi_{u主}^{(ij)} = \phi_{u主}^{(i)} - \phi_{u主}^{(j)}$ ； $\rho_{u主}^{(ij)} = \rho_{u主}^{(i)} - \rho_{u主}^{(j)}$ ； $N_{u主}^{(ij)} = N_{u主}^{(i)} - N_{u主}^{(j)}$ ； $\varepsilon_{\phi_{u主}}^{(i)} = \varepsilon_{\phi_{u主}}^{(i)} - \varepsilon_{\phi_{u主}}^{(j)}$ ； $\phi_{u主}^{(i)} = \phi_u^{PL-从-i} - \phi_{主}^{PL-从-i}$ ； $\rho_{u主}^{(i)} = \rho_u^{PL-从-i} - \rho_{主}^{PL-从-i}$ ； $N_{u主}^{(i)} = N_u^{PL-从-i} - N_{主}^{PL-从-i}$ ； $\varepsilon_{\phi_{u主}}^{(i)} = \varepsilon_{\phi_u}^{PL-从-i} - \varepsilon_{\phi_{主}}^{PL-从-i}$ ； $\phi_{u主}^{(j)} = \phi_u^{PL-从-j} - \phi_{主}^{PL-从-j}$ ； $\rho_{u主}^{(j)} = \rho_u^{PL-从-j} - \rho_{主}^{PL-从-j}$ ； $N_{u主}^{(j)} = N_u^{PL-从-j} - N_{主}^{PL-从-j}$ ； $\varepsilon_{\phi_{u主}}^{(j)} = \varepsilon_{\phi_u}^{PL-从-j} - \varepsilon_{\phi_{主}}^{PL-从-j}$ ； $\phi_{u主}^{(i)}$  是对第 i 个从伪卫星的单差载波相位测量值； $\phi_u^{PL-从-i}$  为伪卫星用户机 u 对第 i 个从伪卫星的载波相位测量方程； $\phi_{主}^{PL-从-i}$  为主伪卫星的同步接收机对第 i 个从伪卫星的载波相位测量值； $\rho_{主}^{PL-从-i}$  为主伪卫星和第 i 个从伪卫星之间的几何距离； $\rho_u^{PL-从-i}$  为伪卫星用户机 u 和第 i 个从伪卫星之间的几何距离； $N_{主}^{PL-从-i}$  为主伪卫星和第 i 个从伪卫星之间的整周模糊度； $N_u^{PL-从-i}$  为伪卫星用户机 u 和第 i 个从伪卫星之间的整周模糊度； $\varepsilon_{\phi_{主}}^{PL-从-i}$  为主伪卫星自闭换同步接收机对第 i 个从伪卫星之间的多径和热噪声； $\varepsilon_{\phi_u}^{PL-从-i}$  为伪卫星用户机 u 对第 i 个从伪卫星之间的多径和热噪声； $\phi_{u主}^{(j)}$  是对第 j 个从伪卫星的单差载波相位测量值； $\phi_u^{PL-从-j}$  为伪卫星用户机 u 对第 j 个从伪卫星的载波相位测量方程； $\phi_{主}^{PL-从-j}$  为主伪卫星的同步接收机对第 j 个从伪卫星的载波相位测量值； $\rho_{主}^{PL-从-j}$  为主伪卫星和第 j 个从伪卫星之间的几何距离；

$\rho_u^{PL-从-j}$  为伪卫星用户机 u 和第 j 个从伪卫星之间的几何距离； $N_{主}^{PL-从-j}$  为主伪卫星和第 j 个从伪卫星之间的整周模糊度； $N_u^{PL-从-j}$  为伪卫星用户机 u 和第 j 个从伪卫星之间的整周模糊度； $\varepsilon_{\phi_{主}}^{PL-从-j}$  为主伪卫星自闭换同步接收机对第 j 个从伪卫星之间的多径和热噪声； $\varepsilon_{\phi_u}^{PL-从-j}$  为伪卫星用户机 u 对第 j 个从伪卫星之间的多径和热噪声； $\lambda$  为信号波长； $f$  为信号频率。

5. 根据权利要求 1 中所述的一种伪卫星厘米级定位方法，其特征在于：所述的主伪卫星和从伪卫星的结构相同。

## 一种伪卫星厘米级定位方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及卫星导航与无线电定位领域,特别是一种伪卫星厘米级定位方法。

### 背景技术

[0002] 目前,定位的需求越来越迫切,人们希望能够在大型商场、公共场所、较长的高速隧道等知道自身所在的位置。

[0003] 以北斗和 GPS 为代表的卫星导航系统应用越来越广泛,并且已经成为智能手机、车载导航仪等必不可少的功能。然而,卫星导航信号因建筑物的遮挡效应,无法穿透建筑物墙壁,从而使卫星导航接收机失去定位功能。

[0004] 基于上述原因,需要一种兼容北斗和 GPS 导航信号的伪卫星设备,可在智能手机、车载导航仪等配置的北斗 /GPS 导航芯片软硬件模块不变动的条件下,实现厘米级的定位方法。因此,针对卫星导航信号因建筑物的遮挡无法实现高精度定位的应用领域,本专利提供了一种基于伪卫星的厘米级定位系统与方法。

### 发明内容

[0005] 本发明的目的:针对卫星导航信号因建筑物的遮挡无法实现高精度定位的应用领域,设计一种伪卫星厘米级定位方法。

[0006] 为了达到上述目的,一种伪卫星厘米级定位方法,包括以下步骤:

[0007] ①构建伪卫星厘米级定位系统;所述的伪卫星厘米级定位系统包括主伪卫星和不少于 3 颗的从伪卫星,主伪卫星和从伪卫星均包括伪卫星信号产生器、自闭环同步接收机、接收天线和发射天线;分别测量主伪卫星的接收天线和发射天线的坐标和从伪卫星的接收天线和发射天线的坐标;

[0008] ②主伪卫星分别向所有从伪卫星和伪卫星用户机发射主信号,所有从伪卫星分别同时向主伪卫星、自身的自闭环同步接收机和伪卫星用户机发射从信号;

[0009] ③所有从伪卫星的自闭环同步接收机分别同时接收主信号和自身的从信号,并根据接收的主信号和自身的从信号计算出主伪卫星和从伪卫星之间的钟差,然后将该钟差写入从伪卫星各自的伪卫星信号产生器的导航电文后,将该导航电文分别发射至主伪卫星的自闭环同步接收机和伪卫星用户机;

[0010] ④主伪卫星的自闭环同步接收机接收和处理所有从伪卫星发射的包含导航电文的从信号,获得伪距测量值和载波测量值,并按照 RTCM 标准协议编写主伪卫星的导航电文;将该导航电文通过主伪卫星的伪卫星信号产生器发射至伪卫星用户机;

[0011] ⑤伪卫星用户机接收处理所有从伪卫星发射的包含导航电文的从信号和主伪卫星发射的包含导航电文的主信号,获得伪距测量值和载波测量值,并建立单差或双差载波相位测量方程后,基于卫星导航 RTK 解算原理完成单差或双差载波相位测量方程的厘米级定位;

[0012] 完成伪卫星厘米级定位方法。

[0013] 其中,步骤③中主伪卫星和从伪卫星之间的钟差计算方法具体为:

[0014]

$$\Delta dt = dt^{PL-从} - dt^{PL-主} = \frac{(P_r^{PL-主} - P_r^{PL-从}) - (\rho_r^{PL-主} - \rho_r^{PL-从})}{c}$$

[0015] 其中: $\Delta dt$ 为从伪卫星和主伪卫星之间的钟差; $dt^{PL-从}$ 为从伪卫星的系统时间偏差; $dt^{PL-主}$ 为主伪卫星的系统时间偏差; $P_r^{PL-从}$ 为从伪卫星的伪距测量值; $\rho_r^{PL-从}$ 为从伪卫星的自闭环同步接收机接收天线和从伪卫星的伪卫星信号产生器发射天线之间的几何距离; $P_r^{PL-主}$ 为主伪卫星的伪距测量值; $\rho_r^{PL-主}$ 为从伪卫星的自闭环同步接收机接收天线和主伪卫星的伪卫星信号产生器发射天线之间的几何距离; $c$ 为光速。

[0016] 其中,步骤⑤中的伪卫星用户机建立单差载波相位测量方程为:

[0017]

$$\phi_{u主}^{(i)} = \lambda^{-1} \rho_{u主}^{(i)} + f * dt_{u主} + N_{u主}^{(i)} + \varepsilon_{\phi,u主}^{(i)}$$

[0018] 其中, $\phi_{u主}^{(i)}$ 是对第*i*个从伪卫星的单差载波相位测量值, $\phi_{u主}^{(i)} = \phi_u^{PL-从-i} - \phi_{主}^{PL-从-i}$ ;  $\rho_{u主}^{(i)} = \rho_u^{PL-从-i} - \rho_{主}^{PL-从-i}$ ;  $dt_{u主} = dt_u - dt_{主}$ ;  $N_{u主}^{(i)} = N_u^{PL-从-i} - N_{主}^{PL-从-i}$ ;  $\varepsilon_{\phi,u主}^{(i)} = \varepsilon_{\phi,u}^{PL-从-i} - \varepsilon_{\phi,主}^{PL-从-i}$ ;  $\phi_{主}^{PL-从-i}$ 为主伪卫星对第*i*个从伪卫星的载波相位测量方程; $\phi_u^{PL-从-i}$ 为伪卫星用户机*u*对第*i*个从伪卫星的载波相位测量方程; $\phi_{主}^{PL-从-i}$ 为主伪卫星的同步接收机对第*i*个从伪卫星的载波相位测量值; $\rho_{主}^{PL-从-i}$ 为主伪卫星和第*i*个从伪卫星之间的几何距离; $\rho_u^{PL-从-i}$ 为伪卫星用户机*u*和第*i*个从伪卫星之间的几何距离; $dt_{主}$ 为主伪卫星同步接收机的时间偏差; $dt_u$ 为伪卫星用户机*u*的时间偏差; $N_{主}^{PL-从-i}$ 为主伪卫星和第*i*个从伪卫星之间的整周模糊度; $N_u^{PL-从-i}$ 为伪卫星用户机*u*和第*i*个从伪卫星之间的整周模糊度; $\varepsilon_{\phi,主}^{PL-从-i}$ 为主伪卫星自闭环同步接收机对第*i*个从伪卫星之间的多径和热噪声; $\varepsilon_{\phi,u}^{PL-从-i}$ 为伪卫星用户机*u*对第*i*个从伪卫星之间的多径和热噪声; $\lambda$ 为信号波长; $f$ 为信号频率。

[0019] 其中,步骤⑤中的伪卫星用户机建立双差载波相位测量方程为:

[0020]

$$\phi_{u主}^{(ij)} = \lambda^{-1} \rho_{u主}^{(ij)} + N_{u主}^{(ij)} + \varepsilon_{\phi,u主}^{(ij)}$$

[0021] 其中, $\phi_{u主}^{(ij)}$ 是双差载波相位测量值, $\phi_{u主}^{(ij)} = \phi_{u主}^{(i)} - \phi_{u主}^{(j)}$ ;  $\rho_{u主}^{(ij)} = \rho_{u主}^{(i)} - \rho_{u主}^{(j)}$ ;  $N_{u主}^{(ij)} = N_{u主}^{(i)} - N_{u主}^{(j)}$ ;  $\varepsilon_{\phi,u主}^{(ij)} = \varepsilon_{\phi,u主}^{(i)} - \varepsilon_{\phi,u主}^{(j)}$ ;  $\phi_{u主}^{(i)} = \phi_u^{PL-从-i} - \phi_{主}^{PL-从-i}$ ;  $\rho_{u主}^{(i)} = \rho_u^{PL-从-i} - \rho_{主}^{PL-从-i}$ ;  $N_{u主}^{(i)} = N_u^{PL-从-i} - N_{主}^{PL-从-i}$ ;  $\varepsilon_{\phi,u主}^{(i)} = \varepsilon_{\phi,u}^{PL-从-i} - \varepsilon_{\phi,主}^{PL-从-i}$ ;  $\phi_{u主}^{(j)} = \phi_u^{PL-从-j} - \phi_{主}^{PL-从-j}$ ;

$\rho_{u\text{主}}^{(j)} = \rho_u^{PL-从-j} - \rho_{\text{主}}^{PL-从-j}$ ;  $N_{u\text{主}}^{(j)} = N_u^{PL-从-j} - N_{\text{主}}^{PL-从-j}$ ;  $\varepsilon_{\phi_{u\text{主}}}^{(j)} = \varepsilon_{\phi_u}^{PL-从-j} - \varepsilon_{\phi_{\text{主}}}^{PL-从-j}$ ;  $\phi_{u\text{主}}^{(i)}$  是对第 i 个从伪卫星的单差载波相位测量值;  $\phi_u^{PL-从-i}$  为伪卫星用户机 u 对第 i 个从伪卫星的载波相位测量方程;  $\phi_{\text{主}}^{PL-从-i}$  为主伪卫星的同步接收机对第 i 个从伪卫星的载波相位测量值;  $\rho_{\text{主}}^{PL-从-i}$  为主伪卫星和第 i 个从伪卫星之间的几何距离;  $\rho_u^{PL-从-i}$  为伪卫星用户机 u 和第 i 个从伪卫星之间的几何距离;  $N_{\text{主}}^{PL-从-i}$  为主伪卫星和第 i 个从伪卫星之间的整周模糊度;  $N_u^{PL-从-i}$  为伪卫星用户机 u 和第 i 个从伪卫星之间的整周模糊度;  $\varepsilon_{\phi_{\text{主}}}^{PL-从-i}$  为主伪卫星自闭换同步接收机对第 i 个从伪卫星之间的多径和热噪声;  $\varepsilon_{\phi_u}^{PL-从-i}$  为伪卫星用户机 u 对第 i 个从伪卫星之间的多径和热噪声;  $\phi_{u\text{主}}^{(j)}$  是对第 j 个从伪卫星的单差载波相位测量值;  $\phi_u^{PL-从-j}$  为伪卫星用户机 u 对第 j 个从伪卫星的载波相位测量方程;  $\phi_{\text{主}}^{PL-从-j}$  为主伪卫星的同步接收机对第 j 个从伪卫星的载波相位测量值;  $\rho_{\text{主}}^{PL-从-j}$  为主伪卫星和第 j 个从伪卫星之间的几何距离;  $\rho_u^{PL-从-j}$  为伪卫星用户机 u 和第 j 个从伪卫星之间的几何距离;  $N_{\text{主}}^{PL-从-j}$  为主伪卫星和第 j 个从伪卫星之间的整周模糊度;  $N_u^{PL-从-j}$  为伪卫星用户机 u 和第 j 个从伪卫星之间的整周模糊度;  $\varepsilon_{\phi_{\text{主}}}^{PL-从-j}$  为主伪卫星自闭换同步接收机对第 j 个从伪卫星之间的多径和热噪声;  $\varepsilon_{\phi_u}^{PL-从-j}$  为伪卫星用户机 u 对第 j 个从伪卫星之间的多径和热噪声;  $\lambda$  为信号波长;  $f$  为信号频率。

[0022] 其中,所述的主伪卫星和从伪卫星的结构相同。

[0023] 本发明技术具有如下优点:

[0024] (i) 本发明采用伪卫星厘米级定位系统,具有时间同步与组网实现简单的优点。

[0025] (ii) 本发明提出了利用主伪卫星的自闭环同步接收机作为基准站的伪卫星 RTK 方法,该方法在载波相位测量方程、整周模糊度求解和厘米级定位解算方面与卫星导航的 RTK 方法兼容的优点。

## 附图说明

[0026] 图 1 是本发明的伪卫星厘米级定位系统示意图;

[0027] 图 2 是从伪卫星与主伪卫星的自闭换同步接收示意图;

[0028] 图 3 是本发明的伪卫星厘米级定位流程示意图。

## 具体实施方式

[0029] 下面结合具体实施例和附图对本发明做进一步的描述。

[0030] 一种伪卫星厘米级定位方法,包括以下步骤:

[0031] ①构建伪卫星厘米级定位系统;所述的伪卫星厘米级定位系统包括主伪卫星和不少于 3 颗的从伪卫星,主伪卫星和从伪卫星均包括伪卫星信号产生器、自闭环同步接收机、接收天线和发射天线;主伪卫星和从伪卫星的接收天线和发射天线的坐标分别使用仪器进

行精确的测量。

[0032] ②主伪卫星分别向所有从伪卫星和伪卫星用户机发射主信号,所有从伪卫星分别同时向主伪卫星、自身的自闭环同步接收机和伪卫星用户机发射从信号。图 2 是从伪卫星与主伪卫星的自闭环同步接收示意图。

[0033] ③所有从伪卫星的自闭环同步接收机分别同时接收主信号和自身的从信号,并根据接收的主信号和自身的从信号计算出主伪卫星和从伪卫星之间的钟差,然后将该钟差写入从伪卫星各自的伪卫星信号产生器的导航电文后,并将该导航电文分别发射至主伪卫星的自闭环同步接收机和伪卫星用户机;

[0034] 其中,主伪卫星与从伪卫星之间的钟差计算方法包括以下步骤:

[0035] (201) 从伪卫星对从信号的伪距测量,伪距测量方程如下:

[0036]

$$P_r^{PL-从} = \rho_r^{PL-从} + c * (dt_r - dt^{PL-从}) + \varepsilon_{PL-从}$$

[0037] 其中:  $P_r^{PL-从}$  为对从伪卫星的从信号伪距测量值,由从伪卫星自闭环同步接收机观测测量获得;  $\rho_r^{PL-从}$  为从伪卫星的自闭环同步接收机接收天线和从伪卫星的伪卫星信号产生器发射天线之间的几何距离,通过事先测量获得;  $dt_r$  为从伪卫星的自闭环同步接收机时间偏差;  $dt^{PL-从}$  为从伪卫星的系统时间偏差;  $\varepsilon_{PL-从}$  为多径和热噪声;  $c$  为光速。

[0038] (202) 从伪卫星对主信号伪距测量,伪距测量方程如下:

[0039]

$$P_r^{PL-主} = \rho_r^{PL-主} + c * (dt_r - dt^{PL-主}) + \varepsilon_{PL-主}$$

[0040] 其中:  $P_r^{PL-主}$  为对主伪卫星的主信号伪距测量值,由自闭环同步接收机观测测量获得。  $\rho_r^{PL-主}$  为从伪卫星的自闭环同步接收机接收天线和主伪卫星的伪卫星信号产生器发射天线之间的几何距离,通过事先测量获得;  $dt_r$  为自闭环同步接收机时间偏差;  $dt^{PL-主}$  为主伪卫星的系统时间偏差;  $\varepsilon_{PL-主}$  为多径和热噪声;  $c$  为光速。

[0041] (203) 计算主伪卫星与从伪卫星之间的钟差。根据 (201) 中的从伪卫星的伪距测量方程与主伪卫星的伪距测量方程 (202) 联立方程组,通过对消处理,得到新的计算方程为:

[0042]

$$P_r^{PL-主} - P_r^{PL-从} = (\rho_r^{PL-主} - \rho_r^{PL-从}) + c * (dt^{PL-从} - dt^{PL-主}) + (\varepsilon_{PL-主} - \varepsilon_{PL-从})$$

[0043] 忽略多径和接收机热噪声的影响,即  $(\varepsilon_{PL-主} - \varepsilon_{PL-从}) = 0$ 。则步骤③中从伪卫星与主伪卫星之间钟差的计算方法为:

[0044]

$$\Delta dt = dt^{PL-从} - dt^{PL-主} = \frac{(P_r^{PL-主} - P_r^{PL-从}) - (\rho_r^{PL-主} - \rho_r^{PL-从})}{c}$$

[0045] 其中:  $\Delta dt$  为从伪卫星和主伪卫星的钟差;  $P_r^{PL-从}$  为对从伪卫星的伪距测量值;  $\rho_r^{PL-从}$  为从伪卫星的自闭环同步接收机接收天线和从伪卫星的伪卫星信号产生器发射天线



之间的几何距离； $P_{\text{主}}^{PL-主}$  为对主伪卫星的伪距测量值。 $\rho_{\text{主}}^{PL-主}$  为从伪卫星的自闭环同步接收机接收天线和主伪卫星的伪卫星信号产生器发射天线之间的几何距离； $c$  为光速。

[0046] ④主伪卫星的自闭环同步接收机接收和处理所有从伪卫星发射的包含导航电文的从信号，获得伪距测量值和载波测量值，并按照 RTCM 标准协议编写主伪卫星的导航电文；该导航电文通过主伪卫星的伪卫星信号产生器发射至伪卫星用户机。

[0047] 其中，主伪卫星对从伪卫星和其自身发射的主信号的载波相位测量具体为：

[0048] 主伪卫星对第  $i$  个从伪卫星的载波相位测量方程  $\phi_{\text{主}}^{PL-从-i}$  为：

[0049]

$$\phi_{\text{主}}^{PL-从-i} = \lambda^{-1} \rho_{\text{主}}^{PL-从-i} + f * (dt_{\text{主}} - dt^{PL-从-i}) + N_{\text{主}}^{PL-从-i} + \varepsilon_{\phi_{\text{主}}}^{PL-从-i}$$

[0050] 其中： $P_{\text{主}}^{PL-从-i}$  为主伪卫星的同步接收机对第  $i$  个从伪卫星的载波相位测量值。

$\rho_{\text{主}}^{PL-从-i}$  为主伪卫星和第  $i$  个从伪卫星之间的几何距离，通过事先测量获得； $dt_{\text{主}}$  为主伪卫星同步接收机的时间偏差； $dt^{PL-从-i}$  为第  $i$  个从伪卫星的系统时间偏差； $N_{\text{主}}^{PL-从-i}$  为主伪卫星和第  $i$  个从伪卫星之间的整周模糊度； $\varepsilon_{\phi_{\text{主}}}^{PL-从-i}$  为多径和热噪声； $\lambda$  为信号波长； $f$  为信号频率。

[0051] 主伪卫星对其自身发射的主信号的载波相位测量方程  $\phi_{\text{主}}^{PL-主}$  为：

[0052]

$$\phi_{\text{主}}^{PL-主} = \lambda^{-1} \rho_{\text{主}}^{PL-主} + f * (dt_{\text{主}} - dt^{PL-主}) + N_{\text{主}}^{PL-主} + \varepsilon_{\phi_{\text{主}}}^{PL-主}$$

[0053] 其中： $\phi_{\text{主}}^{PL-主}$  为主伪卫星的同步接收机对其主信号的载波相位测量值。 $\rho_{\text{主}}^{PL-主}$  为主伪卫星的接收天线与发射天线几何距离，通过事先测量获得； $dt_{\text{主}}$  为主伪卫星同步接收机的时间偏差； $dt^{PL-主}$  为主伪卫星的系统时间偏差； $N_{\text{主}}^{PL-主}$  为主伪卫星的接收天线和发射天线之间的整周模糊度； $\varepsilon_{\phi_{\text{主}}}^{PL-主}$  为多径和热噪声； $\lambda$  为信号波长； $f$  为信号频率。

[0054] ⑤伪卫星用户机接收处理所有从伪卫星发射的包含导航电文的从信号和主伪卫星发射的包含导航电文的主信号，获得伪距测量值和载波测量值，并建立单差或双差载波相位测量方程后，基于卫星导航 RTK 解算原理完成单差或双差载波相位测量方程的厘米级定位。

[0055] 伪卫星用户机  $u$  与各从伪卫星、主伪卫星、主伪卫星的同步接收机的载波测量具体为：

[0056] 伪卫星用户机  $u$  对第  $i$  个从伪卫星的载波相位测量方程  $\phi_u^{PL-从-i}$  为：

[0057]

$$\phi_u^{PL-从-i} = \lambda^{-1} \rho_u^{PL-从-i} + f * (dt_u - dt^{PL-从-i}) + N_u^{PL-从-i} + \varepsilon_{\phi_u}^{PL-从-i}$$

[0058] 其中： $P_u^{PL-从-i}$  为伪卫星用户机  $u$  对第  $i$  个从伪卫星的载波相位测量值。 $\rho_u^{PL-从-i}$  为伪卫星用户机  $u$  和第  $i$  个从伪卫星之间的几何距离，通过事先测量获得； $dt_u$  为伪卫星用户

机 u 的时间偏差 ;  $dt^{PL-主 i}$  为第 i 个从伪卫星的系统时间偏差 ;  $N_u^{PL-从-i}$  为伪卫星用户机 u 和第 i 个从伪卫星之间的整周模糊度 ;  $\varepsilon_{\phi,u}^{PL-从-i}$  为多径和热噪声 ;  $\lambda$  为信号波长 ;  $f$  为信号频率。

[0059] 伪卫星用户机 u 对主伪卫星的载波相位测量方程  $\phi_u^{PL-主}$  为 :

[0060]

$$\phi_u^{PL-主} = \lambda^{-1} \rho_u^{PL-主} + f * (dt_u - dt^{PL-主}) + N_u^{PL-主} + \varepsilon_{\phi,u}^{PL-主}$$

[0061] 其中 :  $\rho_u^{PL-主-i}$  为伪卫星用户机 u 对主伪卫星的载波相位测量值。  $\rho_u^{PL-主-i}$  为伪卫星用户机 u 和主伪卫星之间的几何距离, 通过事先测量获得 ;  $dt_u$  为伪卫星用户机 u 的时间偏差 ;  $dt^{PL-主}$  为主伪卫星的系统时间偏差 ;  $N_u^{PL-主}$  为伪卫星用户机 u 和主伪卫星之间的整周模糊度 ;  $\varepsilon_{\phi,u}^{PL-主}$  为多径和热噪声 ;  $\lambda$  为信号波长 ;  $f$  为信号频率。

[0062] 伪卫星用户机 u 与主伪卫星的同步接收机对第 i 个从伪卫星的单差载波相位测量方程为 :

[0063]

$$\phi_{u主}^{(i)} = \lambda^{-1} \rho_{u主}^{(i)} + f * dt_{u主} + N_{u主}^{(i)} + \varepsilon_{\phi,u主}^{(i)}$$

[0064] 其中,  $\phi_{u主}^{(i)} = \phi_u^{PL-从-i} - \phi_{主}^{PL-从-i}$  ;  $\rho_{u主}^{(i)} = \rho_u^{PL-从-i} - \rho_{主}^{PL-从-i}$  ;  $dt_{u主} = dt_u - dt_{主}$  ;  $N_{u主}^{(i)} = N_u^{PL-从-i} - N_{主}^{PL-从-i}$  ;  $\varepsilon_{\phi,u主}^{(i)} = \varepsilon_{\phi,u}^{PL-从-i} - \varepsilon_{\phi,主}^{PL-从-i}$  ;  $\phi_{u主}^{(i)}$  是对第 i 个从伪卫星的单差载波相位测量值 ;  $\phi_u^{PL-从-i}$  为伪卫星用户机 u 对第 i 个从伪卫星的载波相位测量方程 ;  $\phi_{主}^{PL-从-i}$  为主伪卫星的同步接收机对第 i 个从伪卫星的载波相位测量值 ;  $\rho_{主}^{PL-从-i}$  为主伪卫星和第 i 个从伪卫星之间的几何距离, 通过事先测量获得 ;  $\rho_u^{PL-从-i}$  为伪卫星用户机 u 和第 i 个从伪卫星之间的几何距离, 通过事先测量获得 ;  $N_{主}^{PL-从-i}$  为主伪卫星和第 i 个从伪卫星之间的整周模糊度 ;  $N_u^{PL-从-i}$  为伪卫星用户机 u 和第 i 个从伪卫星之间的整周模糊度 ;  $\varepsilon_{\phi,主}^{PL-从-i}$  为主伪卫星自闭换同步接收机对第 i 个从伪卫星之间的多径和热噪声 ;  $\varepsilon_{\phi,u}^{PL-从-i}$  为伪卫星用户机 u 对第 i 个从伪卫星之间的多径和热噪声。一旦  $N_{u主}^{(i)}$  被求解出, 则单差载波相位  $\phi_{u主}^{(i)}$  就成为既没有模糊度有具有高精度的单差距离测量值, 这与 GNSS 卫星导航的 RTK 测量方程相同, 因此, 可以建立与 GNSS 卫星导航的 RTK 原理相同的测量方程, 解算出伪卫星用户机 u 的厘米级位置坐标。

[0065] 伪卫星用户机 u 与主伪卫星的同步接收机对第 j 个从伪卫星的单差载波相位测量方程为 :

[0066]

$$\phi_{u主}^{(j)} = \lambda^{-1} \rho_{u主}^{(j)} + f * dt_{u主} + N_{u主}^{(j)} + \varepsilon_{\phi,u主}^{(j)}$$

[0067] 其中,  $\phi_{u主}^{(j)} = \phi_u^{PL-从-j} - \phi_{主}^{PL-从-j}$  ;  $\rho_{u主}^{(j)} = \rho_u^{PL-从-j} - \rho_{主}^{PL-从-j}$  ;  $dt_{u主} = dt_u - dt_{主}$  ;

$N_{u\text{主}}^{(j)} = N_u^{PL-从-j} - N_{\text{主}}^{PL-从-j}$ ;  $\varepsilon_{\phi,u\text{主}}^{(j)} = \varepsilon_{\phi,u}^{PL-从-j} - \varepsilon_{\phi,\text{主}}^{PL-从-j}$ ;  $\phi_{u\text{主}}^{(j)}$  是对第 j 个从伪卫星的单差载波相位测量值;  $\phi_u^{PL-从-j}$  为伪卫星用户机 u 对第 j 个从伪卫星的载波相位测量方程;  $\phi_{\text{主}}^{PL-从-j}$  为主伪卫星的同步接收机对第 j 个从伪卫星的载波相位测量值;  $\rho_{\text{主}}^{PL-从-j}$  为主伪卫星和第 j 个从伪卫星之间的几何距离, 通过事先测量获得;  $\rho_u^{PL-从-j}$  为伪卫星用户机 u 和第 j 个从伪卫星之间的几何距离, 通过事先测量获得;  $N_{\text{主}}^{PL-从-j}$  为主伪卫星和第 j 个从伪卫星之间的整周模糊度;  $N_u^{PL-从-j}$  为伪卫星用户机 u 和第 j 个从伪卫星之间的整周模糊度;  $\varepsilon_{\phi,\text{主}}^{PL-从-j}$  为主伪卫星自闭换同步接收机对第 j 个从伪卫星之间的多径和热噪声;  $\varepsilon_{\phi,u}^{PL-从-j}$  为伪卫星用户机 u 对第 j 个从伪卫星之间的多径和热噪声;  $\lambda$  为信号波长;  $f$  为信号频率。

[0068] 伪卫星用户机 u 与主伪卫星的同步接收机对第 i 个从伪卫星和从卫星 j 的双差载波相位测量方程为:

[0069]

$$\phi_{u\text{主}}^{(ij)} = \lambda^{-1} \rho_{u\text{主}}^{(ij)} + N_{u\text{主}}^{(ij)} + \varepsilon_{\phi,u\text{主}}^{(ij)}$$

[0070] 其中,  $\phi_{u\text{主}}^{(ij)} = \phi_{u\text{主}}^{(i)} - \phi_{u\text{主}}^{(j)}$ ;  $\rho_{u\text{主}}^{(ij)} = \rho_{u\text{主}}^{(i)} - \rho_{u\text{主}}^{(j)}$ ;  $N_{u\text{主}}^{(ij)} = N_{u\text{主}}^{(i)} - N_{u\text{主}}^{(j)}$ ;  $\varepsilon_{\phi,u\text{主}}^{(ij)} = \varepsilon_{\phi,u\text{主}}^{(i)} - \varepsilon_{\phi,u\text{主}}^{(j)}$ 。

[0071] 单差载波相位  $\phi_{u\text{主}}^{(ij)}$  消除伪卫星用户机 u 与主伪卫星的同步接收机的钟差影响, 这与 GNSS 卫星导航的 RTK 测量方程相同, 因此, 可以建立与 GNSS 卫星导航的 RTK 原理相同的测量方程, 解算出伪卫星用户机 u 的厘米级位置坐标。

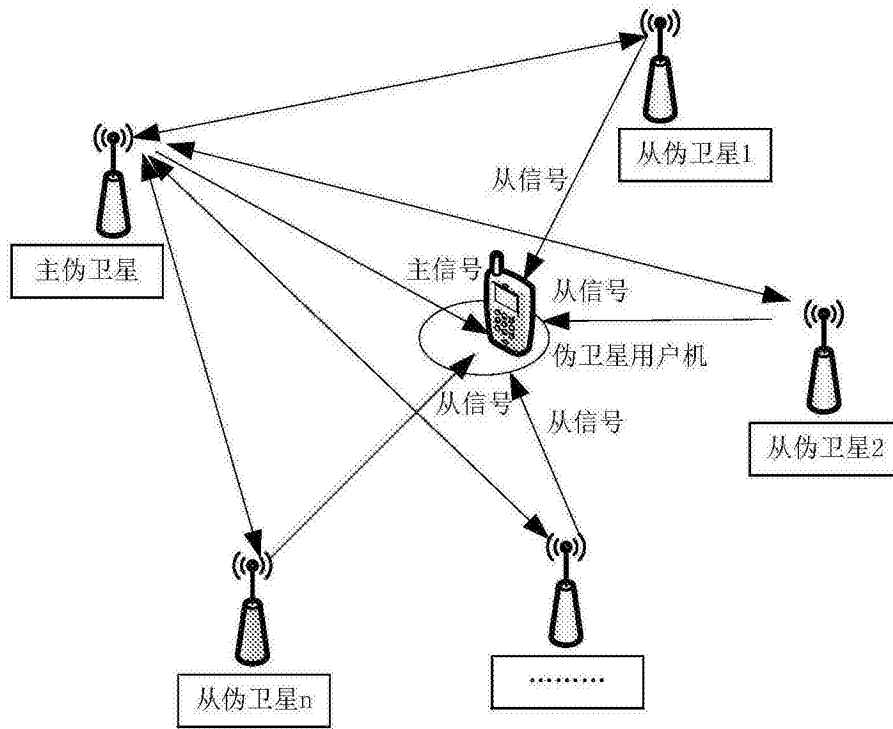


图 1

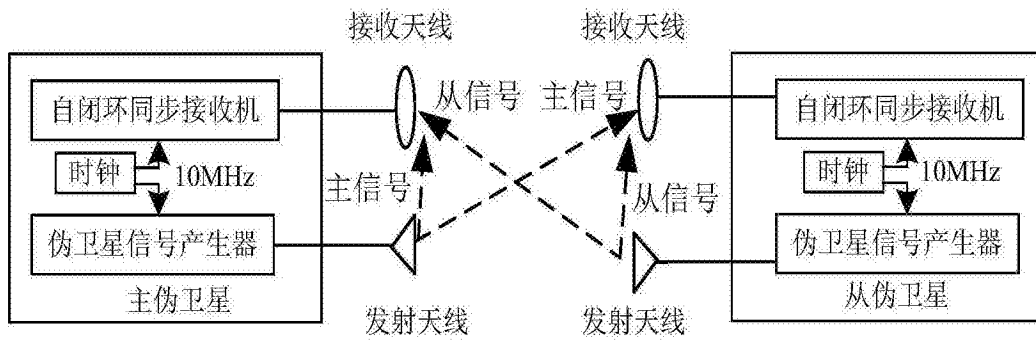


图 2

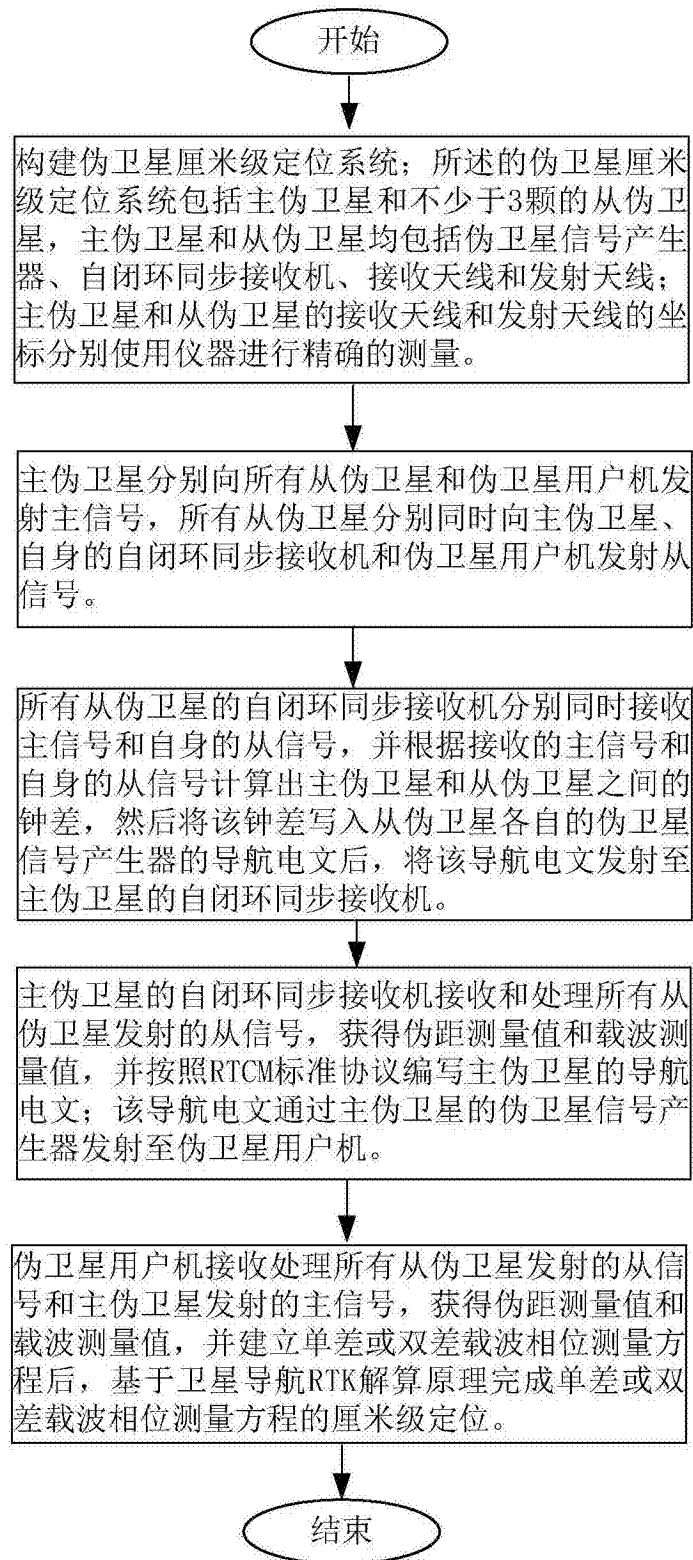


图3